

Gerhard Vitt
Markus Schulz
Wilhelm Nell

Herstellung und Prüfung von Biegebalken nach DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton

Die DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton [1] wird voraussichtlich Mitte dieses Jahres erscheinen und die Normenreihe DIN 1045 hinsichtlich Bemessung und Ausführung von Stahlfaserbeton ergänzen. Durch die dann einheitliche Regelung des Baustoffes Stahlfaserbeton ist mit einer breiteren Anwendung zu rechnen. Wesentliche Grundlage ist die Klassifizierung der Nachrissbiegezugfestigkeit.

Von besonderer Bedeutung in diesem Zusammenhang sind eine sachgerechte Prüfkörperherstellung und Durchführung der Prüfung sowie die richtige Interpretation der Last-Verformungskurven. Nachfolgend sind daher die aus Sicht des Verbandes deutscher Stahlfaserhersteller e.V. wichtigsten Punkte zusammengefasst.

1 Herstellen der Probekörper

Prinzipiell hat der zu prüfende Beton in seiner Zusammensetzung der des später zu verwendenden Betons zu entsprechen. Es werden mindestens sechs Balken der Maße 150 mm × 150 mm × 700 mm in einer ausreichend stabilen und maßgerechten Schalung (z. B. aus Stahl) gemäß DIN EN 12390-2 [2] hergestellt.

1.1 Ausgangsstoffe

Als Größtkorn der Gesteinskörnung werden bei Rundkorn 16 mm und bei gebrochenem Korn 22 mm empfohlen. Die Länge der Stahldrahtfasern sollte das 1,5fache des Größtkorns nicht unterschreiten.

Alle Ausgangsstoffe müssen den Anforderungen der DIN EN 206-1 [3]

in Verbindung mit DIN 1045-2 [4] entsprechen. Die zu verwendenden Fasern müssen zudem ein CE-Kennzeichen haben und entsprechend den Anforderungen nach System „1“ für tragende Zwecke zertifiziert sein [5]. Weiterführende Angaben dazu können [6] sowie dem VDS-Merkblatt „CE-Kennzeichnung“ [7] entnommen werden.

Für die Herstellung von Probekörpern aus Normalbeton ist DIN EN 12390-2 [2] zu beachten.

1.2 Mischen des Betons im Labor

Alle Ausgangsstoffe der Betonrezeptur sind entsprechend bereit zu stellen. Die Betonzusammensetzung darf nicht geändert werden und muss der Rezeptur des Werkes entsprechen.

Die folgende Mischreihenfolge hat sich bei Verwendung üblicher Stahldrahtfasern und Stahlfasergehalte bewährt.

- Einbringung der Gesteinskörnung in den Zwangsmischer, Zugabe von Zement und Zusatzstoffen; Mindestmischdauer 30 sec;
- Wasserzugabe und Zugabe von verflüssigenden Zusatzmitteln während einer weiteren Mischdauer von mindestens 30 sec;
- Gleichmäßige Zugabe der Stahldrahtfasern während einer weiteren Mindestmischzeit von 60 sec. Die anschließende Mischzeit beträgt mindestens 90 sec.

Der Mischvorgang muss visuell kontrolliert werden. Eine Ansammlung von Fasern an den Mischblättern ist zu vermeiden. Es ist zu überprüfen, ob alle Fasern vereinzelt und gleichmäßig verteilt sind. Andernfalls ist die Mischzeit zu verlängern.

Weitergehende Mischanweisungen der Faserhersteller sind ggf. zusätzlich zu beachten.

1.3 Füllen der Formen

Das Befüllen der Balkenform sollte zügig und so erfolgen, dass keine ungewöhnlichen Faserorientierungen auftreten. Dazu kann der Frischbeton mit einer möglichst breiten und flachen Schaufel (20 cm Kantenlänge) satt über dem Mischerboden entnommen bzw. direkt aus dem Labormischer in die Formen eingefüllt werden. Kleine, rundliche Schaufeln (Kaufmannsschaufel) können das Ergebnis verfälschen und sind daher nicht empfehlenswert.

Die Schalung mit Aufsatzrahmen wird zunächst mittig befüllt, so dass ein Kegel entsteht. Danach werden die beiden Seiten rechts und links befüllt, so dass die Schalung zu etwa 110% gefüllt ist.

1.4 Verdichten

Die Verdichtung erfolgt auf einem ausreichend großen Rütteltisch. Innenrüttler sind nicht zulässig. Die Fläche des Rütteltisches muss sauber und eben sein, so dass die Schalung vollflächig aufliegt. Die Schalung muss mit entsprechenden Klammern am Rütteltisch befestigt werden. Bei Konsistenzklassen F3 und F4 ist erfahrungsgemäß eine Rütteldauer von 30 sec ausreichend, um den Beton vollständig zu verdichten.

Der Aufsatzrahmen wird entfernt und der Überschüssige Beton an der Oberfläche abgezogen. Der Beton wird sofort mit einer Folie abgedeckt.

1.5 Lagerung

Die mit Folie abgedeckten Probekörper sind i. d. R. zwei Tage in der Form im Klimaraum zu belassen. Bei Verwendung frühfester Zemente sind 24 Stunden ausreichend. Nach dem Ausschalen werden die Probekörper bei 100% Feuchte (Folie, Wasserlagerung oder Klimaraum mit 95 % r. F.) bis zum Prüfdatum bei $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ gelagert. Werden Folien verwendet, so sind diese z. B. mit Klebeband abzudichten. Sofern nicht anders festgelegt, bleiben die Probekörper bis zum Alter von 28 Tagen gelagert.

2 Balkenprüfung

Für die Prüfung der Biegezugfestigkeit und des Nachrissverhaltens werden die Probekörper so spät wie möglich aus der Folie bzw. dem Wasserbad entnommen. Die Abschnitte 5 und 6.1 von DIN EN 12390-5 [2] sind zu beachten. Die Rohdichte des Balkens ist nach DIN EN 12390-7 [2] zu bestimmen. Anschließend werden die Halterungen für die Messwerterfassung am Probekörper angebracht. Dabei ist sicherzustellen, dass die Betonieroberseite immer eine Seitenfläche des Probekörpers darstellt. Bild 1 zeigt den Versuchsaufbau.

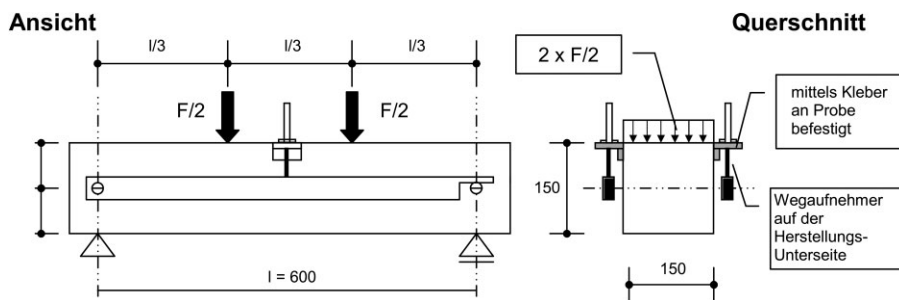


Bild 1. Versuchsaufbau zur Ermittlung der Nachrissbiegezugfestigkeiten



Bild 2. Beispiele für bewegliche Auflager

2.1 Prüfvorrichtung

Die Prüfung muss auf einer wegeregelten Prüfmaschine mit hoher Maschinensteifigkeit, ausreichend kurzer Reaktionszeit und genügend hoher Messfrequenz durchgeführt werden. Die Prüfmaschine muss mindestens der Güteklasse 1 nach DIN 51220 „Werkstoffprüfmaschinen – Allgemeines zu Anforderungen an Werkstoffprüfmaschinen und zu deren Prüfung und Kalibrierung“ [8] entsprechen.

Der Auflagerabstand beträgt $l = 600$ mm. Es ist für eine zwingungsfreie Auflagerung und Lasteinleitung zu sorgen. Dazu muss mindestens ein Auflager in horizontaler Richtung die freie Bewegung des Prüfkörpers sicherstellen (Bild 2). Andernfalls kann es zur Ausbildung eines Druckbogens kommen, der das Ergebnis verfälscht. Gleiches gilt für die Lasteinleitungspunkte.

2.2 Durchführung der Prüfung

Die Steuerung des Versuchs muss über die Durchbiegung des Prüfkörpers erfolgen. Eine Steuerung über den Kolbenweg ist gemäß Schlussentwurf der Richtlinie „Stahlfaserbeton“ [1] des Deutschen Ausschusses für

Stahlbeton nicht zulässig. Die Durchbiegungsgeschwindigkeit darf bis zu einer Durchbiegung von 0,75 mm nicht mehr als 0,10 mm/min betragen. Bei Durchbiegungen größer als 0,75 mm darf die Durchbiegungsgeschwindigkeit schrittweise auf höchstens 0,30 mm/min erhöht werden.

Lasten und Verformungen sind bis zu einer Durchbiegung des Probekörpers von 3,5 mm in Schritten von 0,01 mm zu messen und aufzuzeichnen.

3 Versuchsauswertung

3.1 Prinzipielles

Der typische Last-Durchbiegungsverlauf von Stahlfaserbetonprüfungen ist stark faserabhängig. Sowohl die Faserart, die Faserform und Verankerung, als auch die Faserlänge und die Zugfestigkeit des Materials beeinflussen den Kurvenverlauf. Am wirkungsvollsten sind Drahtfasern.

Allgemein erzielen Stahlfasern mit hohen Schlankheiten bessere Ergebnisse im Versuch als Fasern mit geringer Schlankheit (Tabelle 1, a). Als Schlankheit bezeichnet man das Verhältnis von Länge zu Durchmesser. Dies liegt an der bei gleicher Zugabemenge (kg/m^3) höheren Faseranzahl. Allerdings sollten die Fasern auch eine ausreichende Länge zur Verankerung besitzen (Tabelle 1, b).

Bei höheren Betongüten fallen die Last-Verformungskurven von Fasern mit geringeren Zugfestigkeiten stärker ab (Tabelle 1, d). Daher sollte die Zugfestigkeit der Fasern immer auf die Zugfestigkeit des Betons abgestimmt werden.

Gewellte Drahtfasern erzielen gute Ergebnisse bei kleinen Rissbreiten. Die Last-Durchbiegungskurven fallen jedoch mit wachsender Rissbreite stark ab, so dass sie für eine Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit nicht so gut geeignet sind wie Stahldrahtfasern mit Endhaken (Tabelle 1, c).

Um die Wirkung der Stahlfasern in Beton bewerten und klassifizieren zu können, stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Von besonderer praktischer Bedeutung ist der Biegeversuch, der zur Ermittlung von Last-Durchbiegungskurven herangezogen wird (Bild 1).



Tabelle 1. Beispiele von Einflussparametern für die Nachrisszugfestigkeit

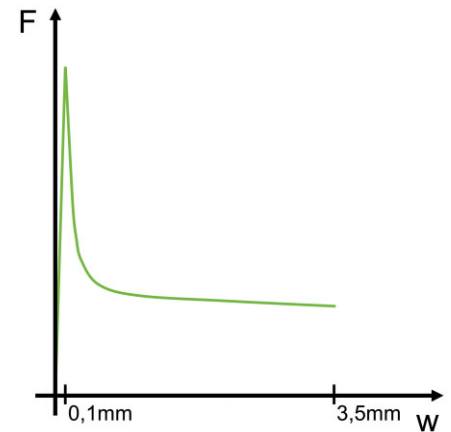
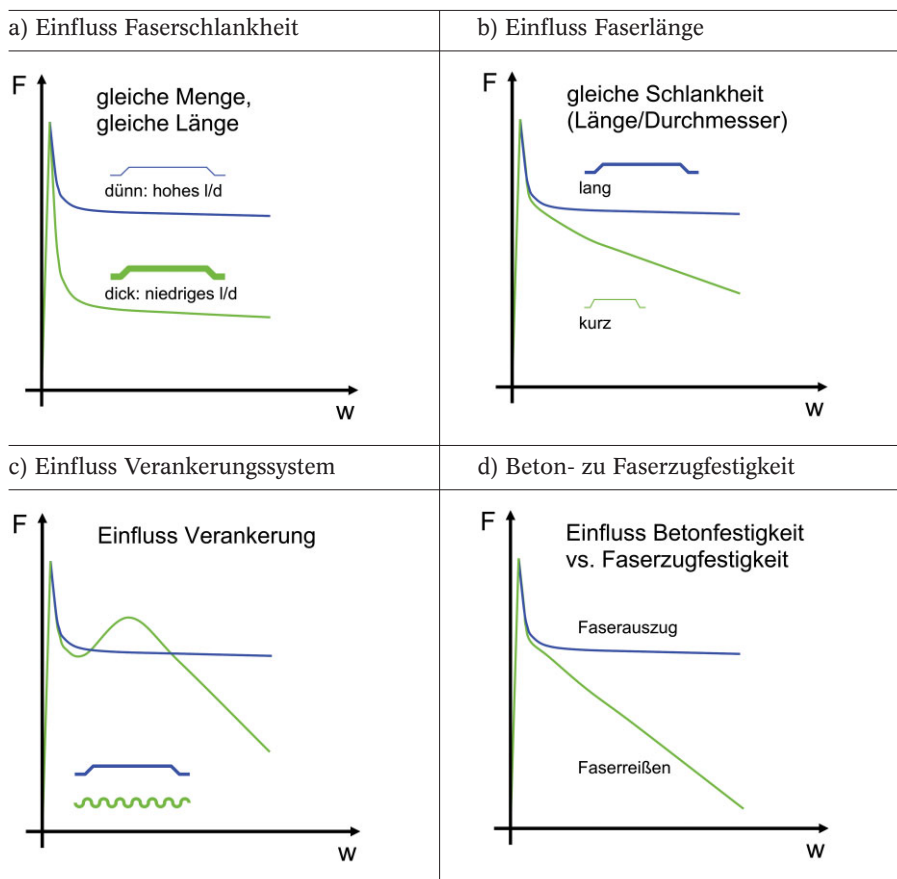


Bild 3. Idealisierter Verlauf der Last-Verformungskurve

mungen an den Auflagern fälschlicherweise als Durchbiegungen gewertet. Die Position der Wegaufnehmer ist in diesem Fall zu prüfen. Eine korrekte Auswertung der Kurve kann gegebenenfalls unter Berücksichtigung des verschobenen Erstrisspunktes erfolgen.

Zu einem unkontrollierten Fall des Probekörpers nach Erstrissbildung kann es bei zu langsamer Reaktion der Maschinensteuerung oder einer zu geringen Messfrequenz kommen. Eine nicht angepasste Auswertung der Kurve überschätzt das Tragverhalten deutlich, wenn der in Bild 5 rot gekennzeichnete Bereich ohne Korrekturmaßnahme mit einbezogen wird. Tatsächlich wurde für die rote Linie kein einziger Messwert ermittelt, sondern lediglich die Erstrisslast mit dem nächsten gemessenen Punkt (blaue Linie) linear verbunden.

Häufig kommt es bei einem unkontrollierten Fall des Probekörpers zum Nachfedern des Balkens. Dadurch kann die Last-Verformungskurve am Beginn des stabilen Bereiches unter Umständen höher liegen als im vorigen Punkt beschrieben, siehe Bild 6. Abhilfe schafft auch hier nur die Verwendung einer ausreichend schnellen und ausreichend steif ausgelegten Prüfmaschine.

Aus diesem Grund wird z. B. in [1] eine Prüfmaschine der Güteklasse 1 gefordert. Instabilitäten lassen sich damit weitestgehend verhindern. Die Auswirkungen sind gerade bei Stahlfaserbetonen mit niedrigeren Leistungs-/Faserbetonklassen von erheblicher Bedeutung. Eine nicht angepasste Auswertung der Kurve über-

3.2 Last-Durchbiegungskurven

Trotz nunmehr langjähriger Erfahrung mit Stahlfaserbeton werden immer noch Fehler bei der Versuchsdurchführung gemacht oder wichtige Details nicht in der Auswertung berücksichtigt. Anhand einfacher Überlegungen kann und sollte jedoch jede Last-Verformungskurve überprüft werden. Gegebenenfalls sind dann besondere Maßnahmen für die Auswertung zu berücksichtigen.

Die im Folgenden gemachten Aussagen gelten für Normalbetone mit üblichen Gehalten von Stahldrahtfasern mit Endhaken. Andere Stahldrahtfasertypen, z. B. gewellte Stahldrahtfasern, können zu einem anderen Verlauf der Last-Verformungskurve führen (Tabelle 1, c). Die Anwendbarkeit der folgenden Aussagen ist prinzipiell auch dafür gegeben, sollte jedoch im Einzelfall geprüft werden.

Der typisierte, ideale Verlauf einer Last-Verformungskurve von Stahlfaserbeton ist in Bild 3 dargestellt. Die Erstrissbildung tritt bei dem in Deutschland verwendeten Biegebalken (Bild 1) i. d. R. bei etwa

0,1 mm bis 0,15 mm Prüfkörperdurchbiegung auf. Danach fällt die Kurve relativ schnell auf ein stabiles Niveau. Mit zunehmender Balkendurchbiegung nimmt dann die zugehörige Prüflast stetig ab. Abhängig von der tatsächlich verwendeten Fasermenge und -länge können die Höhe der Nachrisszugfestigkeit sowie die Neigung der Kurve im Nachrissbereich beeinflusst werden (Tabelle 1).

Die weggesteuerte Durchführung der Prüfung ist eine wesentliche Voraussetzung. Andernfalls ist kein Nachrissbereich in der Last-Verformungskurve erkennbar, und es kann lediglich die Biegezugfestigkeit (Erstrissbiegezugfestigkeit) bestimmt werden. Die Verwendung einer geeigneten verformungsgesteuerten Prüfmaschine ist daher absolut erforderlich.

Ist die Durchbiegung bei Erstrissbildung deutlich größer als ca. 0,1 mm, sollte unbedingt die Versuchsanordnung überprüft werden (Bild 4). Ein falsches Anbringen der Wegaufnehmer oder das Messen der Durchbiegung mit extern platzierten optischen Geräten sind mögliche Ursachen. Dadurch werden z. B. Verfor-

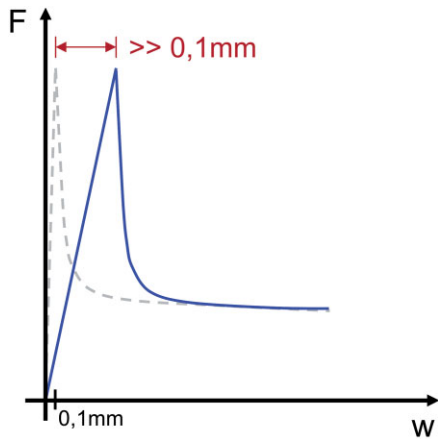


Bild 4. Falsche Durchbiegung für Erststiss

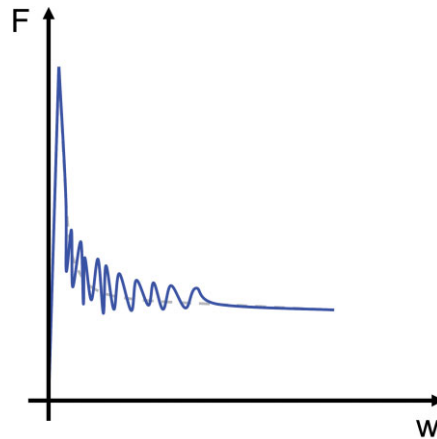


Bild 7. Ungewöhnlich starke Oszillationen

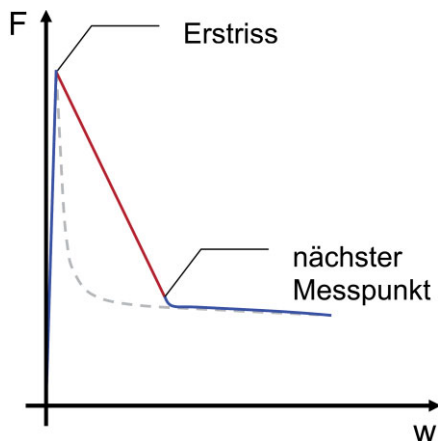


Bild 5. Unkontrollierter Fall des Probekörpers nach Erstrissbildung

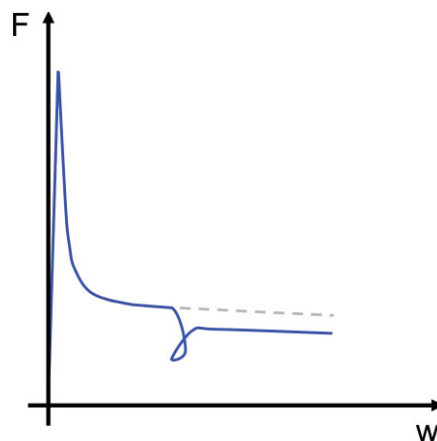


Bild 8. Reißen von Fasern

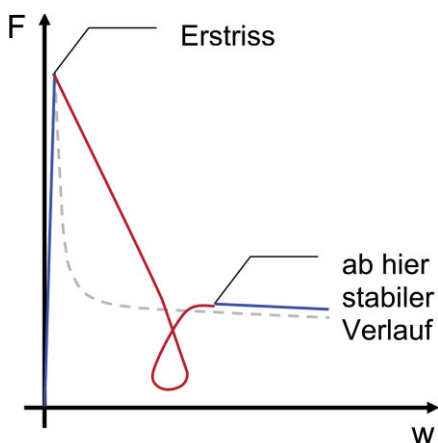


Bild 6. Unkontrollierter Fall des Probekörpers nach Erstrissbildung und Nachfedern des Balkens

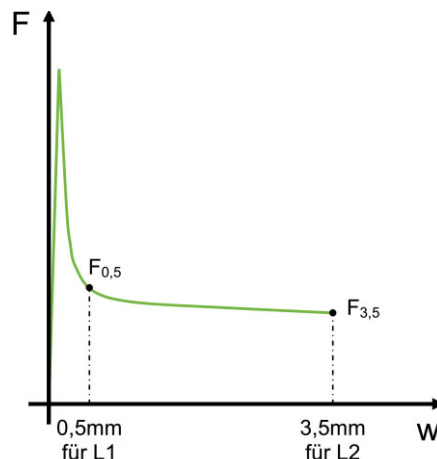


Bild 9. Last-Durchbiegungsbeziehung zur Ermittlung der Nachrissbiegezugfestigkeiten nach [1]

schätzt das Tragverhalten deutlich. Siehe dazu auch Bild 10.

Ungewöhnlich starke Oszillationen (Bild 7) deuten i. d. R. auf maschinentechnische Probleme hin, so dass die Rücksprache mit dem Prüfmaschinenhersteller angezeigt ist. Da

unter Umständen die Auswertung durch die Oszillationen verfälscht wird, müssen die Prüfergebnisse gegebenenfalls verworfen werden.

Wenn die Zugfestigkeit der verwendeten Stahldrahtfasern nicht auf die Betonfestigkeitsklasse abgestimmt

ist, können die Stahlfasern reißen (Bild 8). Anstelle des gewünschten Ausziehens der einzelnen Fasern werden diese gedehnt und reißen mit Erreichen der Bruchdehnung. Der Verbundbaustoff wird spröder und verliert sein duktilen Nachrissverhalten. Die Verwendung von auf die Betonfestigkeit abgestimmten Stahlfasern wird daher unbedingt empfohlen.

Sollte der Verlauf der Last-Verformungskurve nicht vorliegen, können Unterschiede von mehr als einer oder zwei Faserbeton- bzw. Leistungsklassen im Verformungsbereich I und II als Indiz für eine zu geringe Zugfestigkeit der Fasern gesehen werden.

3.3 Klassifizierung von Stahlfaserbeton nach Richtlinie Stahlfaserbeton [1]

Die bereits aus dem DBV-Merkblatt Stahlfaserbeton bekannten Faserbetonklassen [9] wurden auf Basis der äquivalenten Biegezugfestigkeit ermittelt. Sie ist dabei als ein über die Fläche unterhalb der Last-Verformungskurve gemittelter Wert definiert. Die Klasseneinteilung erfolgt dann anhand der daraus ermittelten äquivalenten Zugfestigkeit (Tabelle 2).

Im Gegensatz dazu wird bei der Richtlinie des DAfStb [1] die Nachrissbiegezugfestigkeit direkt bei Balkendurchbiegungen von 0,5 mm und 3,5 mm aus der Last-Verformungskurve ermittelt und mit den Bezeichnungen L1 und L2 der jeweiligen Durchbiegung zugeordnet. Für die in Deutschland verwendete Geometrie des Versuchskörpers entspricht dessen Durchbiegung in etwa der Rissbreite.

Die Einteilung von Leistungsklassen nach [1] erfolgt dann anhand der charakteristischen Nachrissbiegezugfestigkeit (Bild 9). Diese wird aus dem Serienmittelwert der Nachrissbiegezugfestigkeit von mindestens sechs Biegebalken und dem zugehörigen Variationskoeffizienten v bestimmt. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass sich sowohl das Auswertungsverfahren als auch die Einteilung der Leistungsklassen im Vergleich mit den vorhergehenden Richtlinienentwürfen deutlich geändert haben.

$$f_{\text{cfm,L1}}^f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{F_{0,5,i} \cdot l}{b_i \cdot h_i^2} \text{ in N/mm}^2 \quad (1)$$

Tabelle 2. Einteilung von Leistungsklassen nach [1]

charakteristische Nachrissbiegezugfestigkeit $f_{\text{cfllk,Li}}^f$ [N/mm ²]	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0
	a)								b)	b)
Leistungsklasse L1 – 0,5 mm Durchbiegung L2 – 3,5 mm Durchbiegung	Einteilung entsprechend Versuchsauswertung, s. u.									

a) nur für flächenhafte Bauteile $b > 5h$
 b) allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall erforderlich

$$f_{\text{cfllm,L2}}^f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{F_{3,5,i} \cdot l}{b_i \cdot h_i^2} \text{ in N/mm}^2 \quad (2)$$

- mit
 $f_{\text{cfllm,Li}}^f$ Mittelwert der Serie für die jeweilige Verformung
 $F_{0,5}$ Last bei 0,5 mm Balkendurchbiegung
 $F_{3,5}$ Last bei 3,5 mm Balkendurchbiegung
 l, b, h Balkengeometrie, vergleiche Bild 1

Die charakteristische Nachrissbiegezugfestigkeit für die jeweilige Verformung ermittelt sich dann nach Gl. (3) auf Basis einer Log-Normalverteilung.

$$f_{\text{cfllk,Li}}^f = e^{(L_{\text{cfllm,Li}}^f - k_s \cdot L_s)} \leq 0,51 \cdot f_{\text{cfllm,Li}}^f \quad (3)$$

- mit
 $f_{\text{cfllk,Li}}^f$ charakteristische Nachrissbiegezugfestigkeit für die jeweilige Verformung
 $L_{\text{cfllm,Li}}^f$ Mittelwert der logarithmierten Einzelprüfergebnisse f_{ij}^f

$$L_{\text{cfllm,Li}}^f = \frac{1}{n} \times \sum \ln(f_{ij}^f)$$

- L_s Standardabweichung der logarithmierten Einzelprüfergebnisse der Serie

$$L_s = \sqrt{\frac{\sum (L_{\text{cfllm,Li}}^f - \ln(f_{ij}^f))^2}{n - 1}}$$

- k_s Fraktilefaktor für unbekannte Standardabweichung für das 5%-Quantil mit 75% Aussagewahrscheinlichkeit gemäß Tabelle 3
 n Probenanzahl

Die Einschränkung auf $0,51 \cdot f_{\text{cfllk,Li}}^f$ in Gl. (3) steht in direktem Zusammenhang mit der Definition des Geometriefaktors κ_G^f zur Ermittlung

der Rechenwerte der zentrischen Nachrisszugfestigkeit aus $f_{\text{cfllk,Li}}^f$ nach [1].

In Tabelle 4 werden beispielhaft die charakteristischen Nachrissbiegezugfestigkeiten für zwei Biegebalkenserien mit gleichem Mittelwert und unterschiedlicher Streuung der Einzelwerte bestimmt. Zum besseren Verständnis wird nur die Verformung L2 ausgewertet.

Im gewählten Beispiel ergeben sich sogar unterschiedliche Leistungsklassen.

Neben der korrekten Herstellung der Biegebalken (s. o.) beeinflussen auch eine geeignete Zusammensetzung der Betonmatrix sowie eine hohe Anzahl Einzelfasern die Größe des Variationskoeffizienten positiv.

3.4 Besonderheiten bei der Auswertung

Eine fehlerbehaftete Last-Verformungskurve bedeutet nicht automatisch, dass die Ergebnisse verworfen werden müssen. Vielmehr ist es dann entscheidend, sich die Wirkungs-

Tabelle 3. Fraktilefaktor k_s

Zeile	Probenanzahl n	Fraktilefaktor k_s
1	6	2,336
2	9	2,141
3	12	2,048
4	15	1,991
5	20	1,932
6	25	1,895
7	∞	1,645

weise der Stahlfasern in Beton und das zugrunde liegende Auswertungsverfahren genauer anzusehen. In vielen Fällen ist es nämlich möglich, durch eine angepasste Auswertung die Daten trotzdem zu verwenden.

In Bild 10 sind die in Bild 5 und Bild 6 dargestellten Einflüsse aus der Prüftechnik an der roten Linie erkennbar. Der Schnittpunkt der gestrichelten Soll-Kurve mit dem durchgezogenen Teil der roten Linie kennzeichnet die tatsächliche Höhe der Nachrisszugfestigkeit. Dagegen würde der entsprechende Wert für die blau dargestellte Ist-Kurve bei einer schematisierten Kurvenauswertung am Schnittpunkt mit dem gestrichelten Teil der roten Linie abgelesen werden. Die ermittelten Nachrissfestigkeiten sind dadurch zu hoch und liegen auf der unsicheren Seite. Im gewählten Beispiel würde die Tragfähigkeit am Ablesepunkt um ca. 100% überschätzt werden!

Tabelle 4. Beispiel für die Ermittlung charakteristischer Nachrissbiegezugfestigkeiten für zwei Biegebalkenserien mit gleichem Mittelwert und unterschiedlicher Streuung der Einzelwerte nach [1]

Probekörper	Serie 1 [N/mm ²]	Serie 2 [N/mm ²]
1	1,80	1,30
2	1,90	1,40
3	2,00	2,60
4	2,20	3,00
5	2,10	1,20
6	2,00	2,50
$f_{\text{cfllm,L2}}^f$	2,00	2,00
$f_{\text{cfllk,L2}}^f$	1,02	0,72
mit	$f_{\text{cfllk,L2}}^f = 0,51 \cdot f_{\text{cfllm,L2}}^f$	$f_{\text{cfllk,L2}}^f = e^{(L_{\text{cfllm,L2}}^f - k_s \cdot L_s)}$ (siehe Tabelle 5)
Leistungsklasse L2 (siehe Tabelle 2)	0,9	0,6

Tabelle 5. Ermittlung des charakteristischen Wertes von Serie 2

Probekörper Serie 2	$\ln f_{Li,i}^f$	$(L_{cfm,Li}^f - \ln f_{Li,i}^f)^2$
1	0,262	0,132
2	0,336	0,083
3	0,956	0,109
4	1,099	0,224
5	0,182	0,196
6	0,916	0,085
$L_{cfm,L2}^f$		0,625
L_s		0,407
$f_{cfk,L2}^f$	0,72	

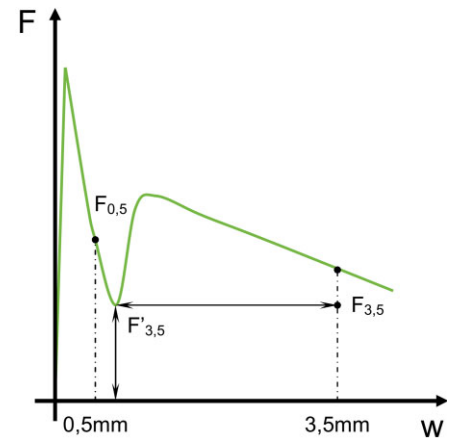


Bild 12. Auswertung bei nicht monotonem Kurvenverlauf nach [1]

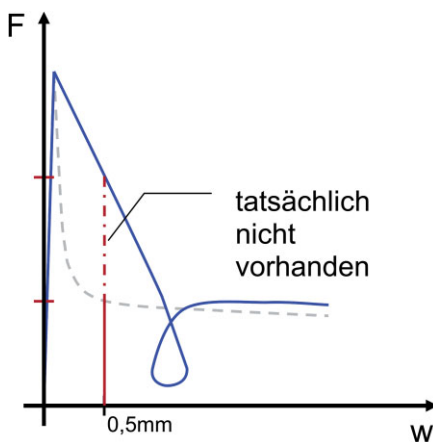


Bild 10. Schematisierte Auswertung als Fehlerquelle

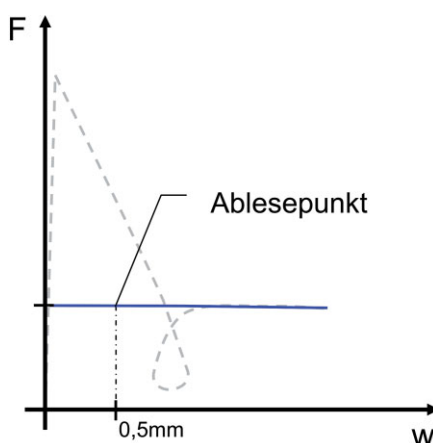


Bild 11. Extrapolation der Last-Verformungskurve für Stahldrahtfasern

Bevorzugt sollte in einem solchen Fall die Prüfeinrichtung technisch nachgerüstet werden. Als Notbehelf kann man sich für die Auswertung auf den stabilen Bereich (vergleiche Bild 5) der Last-Verformungskurve beschränken und die

fehlenden Werte extrapolieren. Dies setzt jedoch die Kenntnis des tatsächlichen Kurvenverlaufs voraus. Dieser kann beispielsweise durch einen Vergleich mit Referenzbalken für den gleichen Fasertyp in einem vergleichbaren Beton qualitativ ermittelt werden kann.

In Bild 11 ist die horizontale Extrapolation, ausgehend vom ungestörten Kurvenverlauf, als blaue Linie dargestellt.

Eine derartige Vorgehensweise liegt jedoch nur für handelsübliche Stahldrahtfasern mit Endhaken auf der sicheren Seite und sollte ohne weitergehende Betrachtungen nicht auf andere Fasertypen oder Materialien übertragen werden.

Ohne Vergleichsmöglichkeit mit Referenzbalken sind die Ergebnisse zu Verwerfen. Andernfalls kann nicht sichergestellt werden, dass die Anforderung an die Last-Verformungskurve bzw. deren Auswertung nach [1] eingehalten werden. Entsprechend den dortigen Regelungen muss die Last-Durchbiegungskurve zwischen 0,5 mm und 3,5 mm monoton verlaufen. Andernfalls ist für die Bestimmung der Nachrisszugfestigkeit L_2 mit Gl. (2) der niedrigste Wert zwischen 0,5 mm 3,5 mm Durchbiegung anzunehmen (vgl. $F'_{3,5}$ in Bild 12). Dazu ist zumindest die qualitative Kenntnis des tatsächlichen Kurvenverlaufs erforderlich.

Üblicherweise liegt der Wert bei 3,5 mm Durchbiegung (L_1) unter dem bei 0,5 mm ermittelten (L_2). Für den Fall, dass $L_2/L_1 > 1$ sein sollte, sieht [1] gesonderte Regelungen im Teil 1 (Bemessung) vor.

4 Fazit

Die korrekte Herstellung der Prüfkörper sowie die richtige Auswertung und Interpretation der Prüfergebnisse sind entscheidend für den wirtschaftlichen und sicheren Einsatz von Stahlfaserbeton. Gerade die kontinuierliche Produktion dieses Werkstoffes sowie neue, innovative Anwendungen bedingen reproduzierbare und vergleichbare Ergebnisse in besonderem Maße.

Mit den hier zusammengefassten, langjährigen Erfahrungen der Mitgliedsunternehmen des Verbands deutscher Stahlfaserhersteller e.V. (www.vdsev.de), lassen sich häufig gemachte Fehler in der Klassifizierung von Stahlfaserbeton vermeiden.

Literatur

- [1] DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton, Schlussentwurf Juli 2008, DAfStb, Berlin, mit Berücksichtigung der Ergebnisse der Einspruchssitzung vom 18. 02. 2009.
- [2] DIN EN 12390, Prüfung von Festbeton; Ausgabe 2001.
- [3] DIN EN 206-1, Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206-1:2000/A2:2005.
- [4] DIN 1045-2, Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Deutsche Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1; Ausgabe 2001-07.
- [5] DIN EN 14889-1, Fasern für Beton – Teil 1: Stahlfasern – Begriffe, Festlegungen und Konformität; Deutsche Fassung, EN 14889-1:2006.
- [6] G. Vitt: CE-Kennzeichnung für Stahlfasern verbindlich, Beton 12/2008.

- [7] VDS Merkblatt „CE-Kennzeichnung“, Ausgabe 8/2008, www.vdsev.de
[8] DIN 51220, Werkstoffprüfmaschinen
- Allgemeines zu Anforderungen an

Werkstoffprüfmaschinen und zu deren
Prüfung und Kalibrierung; Ausgabe
2003-08.

- [9] DBV-Merkblatt Stahlfaserbeton, Fas-
sung 10/2001, Deutscher Beton- und
Bautechnik Verein E.V., Berlin.



Dipl.-Ing. Gerhard Vitt
Bekaert GmbH
Otto-Hahn-Straße 20
61381 Friedrichsdorf
gerhard.vitt@bekaert.com



Dipl.-Ing. Markus Schulz
KrampeHarex GmbH & Co. KG
Pferdekamp 6-8
59075 Hamm
markus.schulz@krampeharex.com



Dipl.-Ing. Wilhelm Nell
ArcelorMittal Wire Solutions Steel Fibres
Subbelrather Straße 13
50672 Köln
wilhelm.nell@arcelormittal.com